

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

以功能性觀點為出發點之手部工作空間與手弓的型態學評估

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 103-2218-E-041-001-
執行期間：103年08月01日至104年07月31日
執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學資訊管理系

計畫主持人：張瓊文
共同主持人：孫永年、郭立杰
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：郭振鵬
大專生-兼任助理人員：陳怡如
大專生-兼任助理人員：鄭智捷
大專生-兼任助理人員：周文豪
大專生-兼任助理人員：劉雅玲
大專生-兼任助理人員：顏廷憲

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中 華 民 國 104 年 10 月 27 日

中文摘要：手部運動於日常工作上極為重要，然而在手部因構造及關節動作上之複雜，仍未有合適之動態功能性關節活動範圍及手弓之模型建立，因此常造成動作障礙評估或保險理賠上之困擾。本計畫之成果利用運動分析系統，將以手部功能性之觀點，建立一系列的手部合作等複雜功能相關的評估指標。於一年計劃期間，已完成25位受測者的多種手部功能運動，包含手部拇指最大與最小工作空間運動，四指抓取運動(Grasping)，四指功能性工作空間運動(Full Flexion and Full Extension)。並依此探討功能性工作區域的量測與其相關的正常手模型之建立，型態學上的手弓參數選取與訓練，手部抓取空間之估計，動態手部功能性區域之估計與綜合性之手部合作功能指標。於本年計畫中，已完成以量測其功能性工作範圍(Functional Workspace)與建立其全手標記點之設置。其中，對於手部拇指運動更已提出具體的研究成果，後續也將全手部份的運動模型作分析與建立空間量化參數模型。對於手部運動空間的形態資訊討論將更深入一層，包含其運動的時間性與手部個別區域與整體形態的參數關係。其方法將使用PCA與點估計的方法(如Gaussian等)將其對應之隱藏函數取出，其目的在建立區域與其手部運動kinematics參數之對應模型，並以此發展量化之評估指標。另外，對於延伸計畫的手部日常運動動作的探討也有一些執行成果與量測，將一併列出。目前已投稿一篇國際會議論文，並已準備投稿一篇期刊論文。而其後續分析也期待陸續有更好的成果，以其臨床之實用價值而言，此量化指標將可預期作為更具參考性的手部復健評估工具，以學術領域而言，不失為一可以持續開發的研究領域。

中文關鍵詞：手部功能性運動，拇指運動，手部型態學

英文摘要：Functional motion of hand are most important in dairy life. Due to the complexity of hand and joint system, there is still no parametric model to fit or represent the dynamic functional joint or hand motions. Thus, for lack of the model, it is difficult to solve the quantitatively evaluating problem in hand motions or even the associated insurances. This research use the hand morphology perspective to create a series of hand evaluation indicators, with the commercial motion analysis system. During the research, we have finished the motion analysis data of 25 subjects with a normal-used hand and no hand-hurt history, with ages ranged from 20 to 30 years. There are several motions we have to record and analyze, including thumb circumduction, finger flexion and extension, hand full grasping, and hand holding (another type of grasping task) and some static postures. In our experiments, a full-hand marker protocol has been adopted, there are total 39 markers to cover all hand joints and some important positions with representing the meaningful anatomic structure. The target is to build a normal-hand morphological model associated with hand motion, including most of daily hand functions. In addition, the system is

cable of estimating the geometric information of work space, the temporal information of hand morphology and the associated quantitative evaluation indicators. We have present the prototype stage results of the research in ICEN 2015 international conference, and have a plan to publish the more details in international journals. So far, the spiral parametric model is developed for thumb motion and the interaction FCW for thumb and fingers are discussed with including hand configuration (kinematics) and temporal information. Several evaluation indicators are developed by temporal information and more practical ones are expected to developed and be tested. Our future work are also concerning on hand morphological model for clinical evaluations, including collecting more test cases and other types of hand motions.

英文關鍵詞：hand functional workspace , thumb motion , hand morphology

科技部補助專題研究計畫成果報告

(☐期中進度報告/☒期末報告)

以功能性觀點為出發點之手部工作空間與手弓的型態學評估

(計畫名稱)

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：MOST —103 — 2218 — E —041 —001

執行期間：103 年 8 月 01 日至 104 年 7 月 31 日

執行機構及系所：嘉南藥理大學資訊管理系

計畫主持人：張瓊文

共同主持人：孫永年，郭立杰

計畫參與人員：

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 1 份：

☐執行國際合作與移地研究心得報告

☒出席國際學術會議心得報告

期末報告處理方式：

1. 公開方式：

☒非列管計畫亦不具下列情形，立即公開查詢

☐涉及專利或其他智慧財產權，☐一年☐二年後可公開查詢

2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：☒否☐是

3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考 ☒否 ☐是，_____（請列舉提供之單位；本部不經審議，依勾選逕予轉送）

中 華 民 國 104 年 8 月 20 日

成果報告中英文摘要

一、中文摘要

手部運動於日常工作上極為重要，然而在手部因構造及關節動作上之複雜，仍未有合適之動態功能性關節活動範圍及手弓之模型建立，因此常造成動作障礙評估或保險理賠上之困擾。本計畫之成果利用運動分析系統，將以手部功能性之觀點，建立一系列的手部合作等複雜功能相關的評估指標。於一年計劃期間，已完成 25 位受測者的多種手部功能運動，包含手部拇指最大與最小工作空間運動，四指抓取運動(Grasping)，四指功能性工作空間運動(Full Flexion and Full Extension)。並依此探討功能性工作區域的量測與其相關的正常手模型之建立，型態學上的手弓參數選取與訓練，手部抓取空間之估計，動態手部功能性區域之估計與綜合性之手部合作功能指標。於本年計畫中，已完成以量測其功能性工作範圍(Functional Workspace)與建立其全手標記點之設置。其中，對於手部拇指運動更已提出具體的研究成果，後續也將全手部份的運動模型作分析與建立空間量化參數模型。對於手部運動空間的形態資訊討論將更深入一層，包含其運動的時間性與手部個別區域與整體形態的參數關係。其方法將使用 PCA 與點估計的方法(如 Gaussian 等)將其對應之隱藏函數取出，其目的在建立區域與其手部運動 kinematics 參數之對應模型，並以此發展量化之評估指標。另外，對於延伸計畫的手部日常運動動作的探討也有一些執行成果與量測，將一併列出。目前已投稿一篇國際會議論文，並已準備投稿一篇期刊論文。而其後續分析也期待陸續有更好的成果，以其臨床之實用價值而言，此量化指標將可預期作為更具參考性的手部復健評估工具，以學術領域而言，不失為一可以持續開發的研究領域。

關鍵詞

手部功能性運動，拇指運動，手部型態學

二、英文摘要

Functional motion of hand are most important in dairy life. Due to the complexity of hand and joint system, there is still no parametric model to fit or represent the dynamic functional joint or hand motions. Thus, for lack of the model, it is difficult to solve the quantitatively evaluating problem in hand motions or even the associated insurances. This research use the hand morphology perspective to create a series of hand evaluation indicators, with the commercial motion analysis system. During the research, we have finished the motion analysis data of 25 subjects with a normal-used hand and no hand-hurt history, with ages ranged from 20 to 30 years. There are several motions we have to record and analyze, including thumb circumduction, finger flexion and extension, hand full grasping, and hand holding (another type of grasping

task) and some static postures. In our experiments, a full-hand marker protocol has been adopted, there are total 39 markers to cover all hand joints and some important positions with representing the meaningful anatomic structure. The target is to build a normal-hand morphological model associated with hand motion, including most of daily hand functions. In addition, the system is cable of estimating the geometric information of work space, the temporal information of hand morphology and the associated quantitative evaluation indicators. We have present the prototype stage results of the research in ICEN 2015 international conference, and have a plan to publish the more details in international journals. So far, the spiral parametric model is developed for thumb motion and the interaction FCW for thumb and fingers are discussed with including hand configuration (kinematics) and temporal information. Several evaluation indicators are developed by temporal information and more practical ones are expected to developed and be tested. Our future work are also concerning on hand morphological model for clinical evaluations, including collecting more test cases and other types of hand motions.

關鍵詞

hand functional workspace , thumb motion , hand morphology

成果報告內容

一、 前言

有鑑於資訊科技普遍的被使用，仰賴手部精巧動作的工作(e.g. non-force tasks)大量增加，例如：電腦鍵盤與滑鼠的操作，抑或行動裝置的手指選按與滑動動作。日以千計的使用，使此類的運動傷害增加，也大量造成手部復健之負擔。然而，目前對手傷復健的評估主要以單手指的運動 kinematics 為主，即是以其可彎曲之指關節(i.e., MP & IP joints)角度的最大與最小狀況來估計與量化其恢復程度。或是以特定動作來評估其是否可以完成，如抓取(Grasp)與 Pinch 等(Chase, 2002; Kamper, 2003)。這些臨床上所使用的量測方式大都以手部運動學參數為主(即 kinematics parameters)，並無法收到直接評估日常手部工作效能之效果。因此，發展一些更直接反映出手部工作特性的評估方式極為需要。本年度計畫目前已完成手部精細標記點的配置測試，並利用運動追蹤系統(含有 8 台 CCD 攝影機)，來擷取手部標記點並驗證其標記點配置之有效性！在實驗設計部分，除了基本的手部常用動作，為配合本計畫的目的。我們嘗試拇指的單獨運動空間的量測，手部四指分段彎曲運動，與不同大小物體半徑與形狀的抓取動作。如此，可以涵蓋手部日常運動大部分的姿態。另外，也就其不同部位與運動，進行手部運動形態參數模型的建立。就其結果而言，具有相當的臨床參考價值。

二、 研究目的

本計畫的研究目的在於手部運動量化參數模型的建立，由於臨床取樣資料的複雜度與不一致性。我們也提出以統計資訊為基礎的再取樣與濾波方法。配合統計期望值的估計，可以使高雜訊的運動臨床資料被成功的再取樣，也提升後續的分析的可靠度。藉由全手標記點的設計與多種功能性手部運動路徑的擷取，手部各關節角度與其關節或手指間的互相關聯性可以被分析，而其整體的手部形態也藉由此呈現出來。我們將依據不同的運動設計，分別建立其手部運動量化參數模型，藉由高維度幾何數學參數的設計與線性最佳化的求解計算，可以找出在每一運動時，手部的代表性形態結構與其數學參數。藉由不同個體的參數資訊收集，可以擬出一具代表性的手部運動參數，並藉由此參數的分析，達到對於手部運動的姿態評估與量化診斷。

三、 文獻探討

近年來，除了傳統上對手部神經肌肉(neuromuscular system)的個別功能的討論，以有許多研究顯示手部肌肉的運用是互相支援的(Sangole 2007)。尤其是在執行抓取(prehensile function)相關的動作時，手部的內肌肉系統(intrinsic muscles)將輔助手指作不同的合作形態(fingers coordination)。此也造就了多種(i.e. 8 種 by Sangole)精巧的手部穩定的抓握動作(A1~A4 and B1~B4 types of grips)。這些改變了對手傷病人復健評估，手部的功能恢復程度將以直接關聯於其手指互動合作的程度。

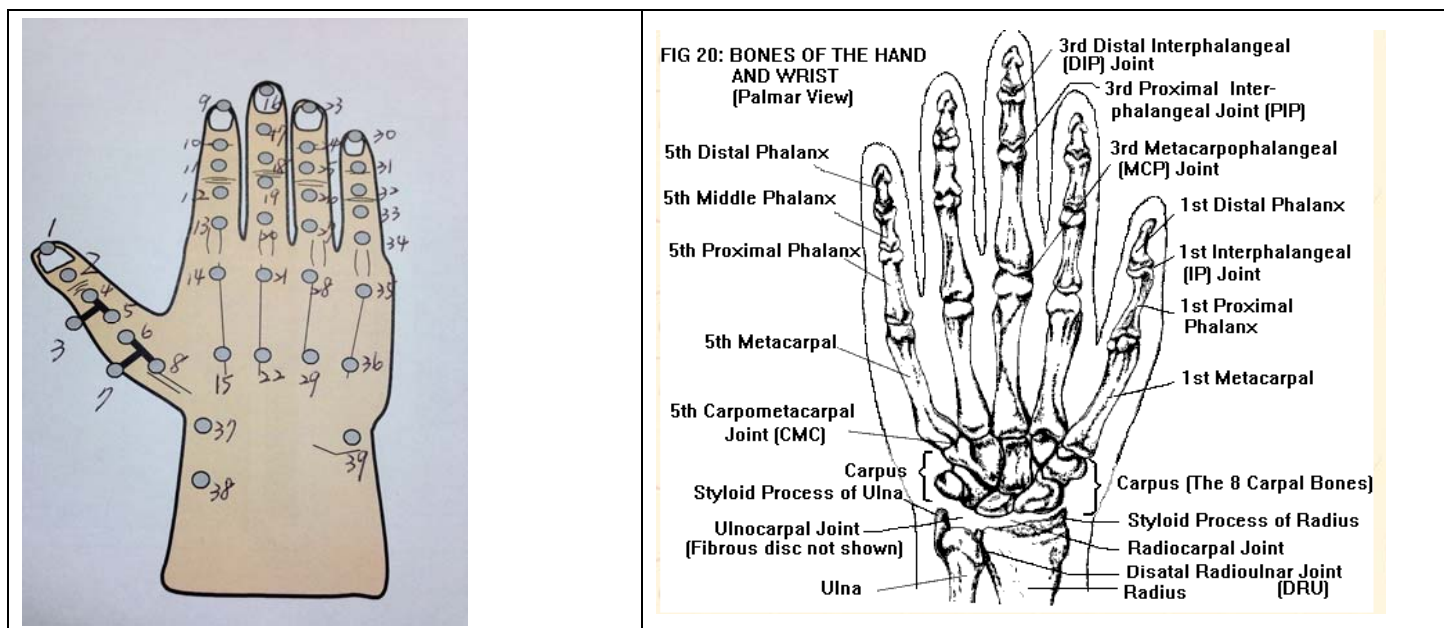
目前，對於手部功能復健的評估已由靜態動作轉向動態運動(Chiu 1998b)。藉由運動分析系統的使用(Chiu 1998a, 2000)，並設定好適當的觀察標記點，我們可以將手部各部位運動軌跡加以記錄(Kamper 2003)。因此，手部各關節的工作範圍(workspace)將可以利用此技術來獲得(Tang 2008; Su 2003)，並成為觀察與評估每一關節復原程度的依據。許多對工作範圍參數對應於手指骨運動參數模形的研究也與日俱增(Frisoli 2007)。然而，基於全手連動性功能的觀念，以手指合作功能為取向的評估方式已在 2003 由 Kuo 提出，他認為手部功能恢復程度應以其功能性運動範圍(functional workspace)為依據。意即手功能復健只要可以達到手指與拇指可以交互合作的範圍區域即可，不需要以個別手指關節彎曲的完整程度為主。針對 20 位受測者，Kuo 並提出對每一手指的功能性運動範圍比例(19%(little)~33%(index))，結果顯示，當執行手指合作運動時，手指功能只要確保最多 33% 區域的正常運動即可。這將大幅減少對不需要的運動姿態(joint kinematic)作訓練。然而，針對這個

結果，Kuo 卻尚未對其運動範圍提出更具參考的模型，以作為手部復健評估之實用量測指標(Kuo 2009, Chang 2012)。另一方面，雖然手部功能性範圍可以描述拇指與四指的合作動作(如對指等,opposition tasks)，但對於手部的抓取或抓握等包含掌部的功能卻無法評估。由於手部抓握的工作極為重要(Cole 1986)，一直也是手眼合作(腦中風病人之訓練)重要的指標，因此，Sangole 提出以手部重要結構為依據的手部抓取功能評估方式(2007,2008)。他將與抓取功能相關的手部結構，即 distal transverse arch, oblique arch,與 longitudinal arch 三條結構手弓來表現其手掌運動對於抓取動作的變化。同時他也提出使用以 posterior 平面的標記點結構來表示手弓弧線平面的量測，並以記錄三個由標記點構成的平面方向變化來記錄執行抓取動作之不同階段手部變化。雖然如此的標記點設計可以提供初步的手型運動變化，但對於手弓真正結構的改變與範圍並未著墨。

四、 研究方法

(一) 手部標記點配置設計:

由於手部結構的複雜性與連動性，我們採用 39 點的標記點配置來記錄全手部的位。如圖：



圖一：手部標記點配置圖與手部 joint 結構圖

由於拇指 CMC 關節的維度較高，因此須將 DP 與 MP 建立完整 3 點座標系。對於四指部分，除指尖(nail)外，為克服皮膚滑動造成標記點相對於手指骨節位置資訊的失真，須採用以 2 點來表示各自的手指骨節方式的標記法。加上較靜態 MCP 指節的部分，共需 39 個標記點。其中在手腕處 3 點標記點因受到手部運動影響小，可以作為手部基準座標建立的參考。

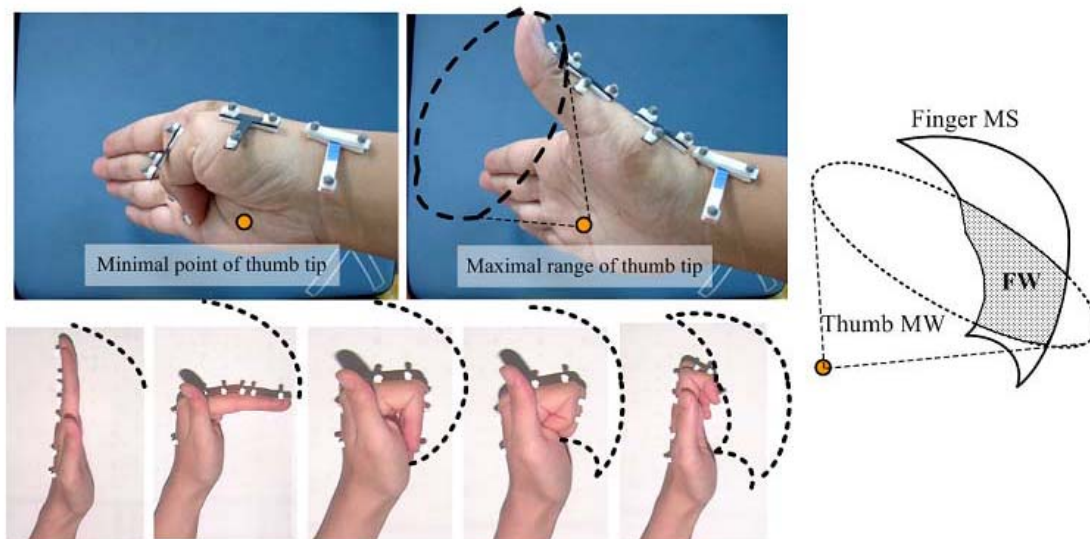
量測基本手部資訊，先針對個案進行手部資訊量測:如下圖，將量測手掌長,寬等資訊



(二) 手部功能運動設計:

(a) 拇指運動

拇指運動主要分為最大工作區間運動與最小運動位置部分，如圖所示:



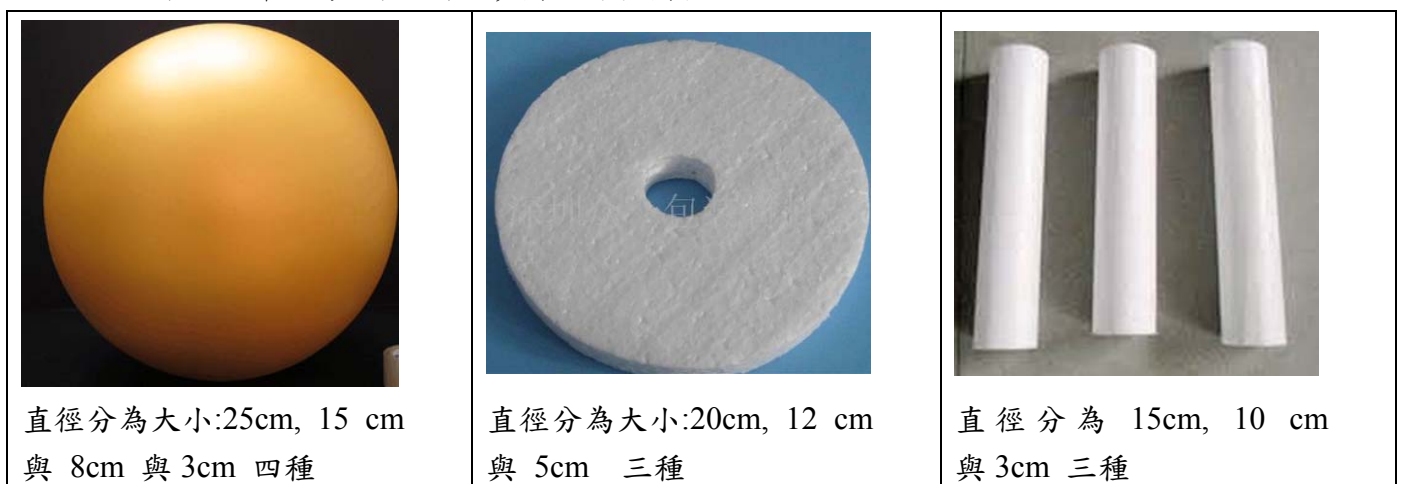
圖二: 上圖: 拇指運動工作空間; 下 5 圖: 四指伸張運動工作空間; 右圖: 手部功能性運動空間

(b) 四指彎曲運動

如上圖所示，將紀錄全手新的標記點配置，以得到更精確的手部形態資訊。四指灣區有五種分解動作，一為完全伸展(Full Extension)，其 MCP, DP,IP 關節盡量於自然狀態(請參考圖一右圖)。第 2 動作為彎曲 MCP 關節部分成 90 度，第 3 動作為彎曲 PIP 關節，第 4 動作將 DIP 官階作全部的彎曲，第 5 動作為伸展 MCP 關節恢復 0 角度。最後再回到第 1 動作。如此為完成一次動作。

(c) 抓取運動

抓取動作的設計分為三種: 球體, 圓盤 與 圓柱



由於手部再抓取時，將呈現重要的手指肌肉協調資訊，因此在形態的分析上極具價值。

球體抓取:

此時手部的合作運動最為自然，整體手部結構資訊可以明顯展示出手弓形態的彎曲與變化。

分為四種大小 (1)最大約直徑 25cm 以上: 測試手部幾乎完全伸展開之抓取運動。(2)直徑 15cm , 用來測試較大的手部完全抓取動作 (3)直徑 8cm , 用來測試較小的手部完全抓取動作(4)直徑 3cm 或以下, 用來測試手部近乎最小手指尖聚合之抓取動作, 此時抓取動作幾乎是使用各指末節來抓取施力。

圓盤抓取:

此時手部的合作運動需採特殊姿勢: 手部 MCP 關節有時需要呈現 Extra Extension 狀態, 而配合 DIP 與 PIP 的彎曲, 已達到抓取的施力。如圖所示, 此時展示出手弓形態的的彎曲與變化較為特殊。分為三種大小 (1)最大約直徑 20cm 以上: 測試手部幾乎完全伸展開之抓取運動。(2)直徑 12cm , 用來測試較大的手部完全抓取動作 (3)直徑 5cm , 用來測試較小的手部完全抓取動作。



圓柱抓取:

此時手部的合作運動主要為拇指需與四指合指互動: 四指幾乎一起呈現共同的彎曲, 且較為近靠一起。此時展示出手弓形態的的彎曲與變化在四指的 MCP 關節處幾乎為直線。分為三種大小 (1)最大約直徑 15cm 以上 (2)直徑 10cm (3)直徑 5cm , 用來測試由大到小的手部完全抓取動作。

(d) 最小抓取之手指聚合動作

此用來定位手部合指的極端姿勢狀態, 一方面也是手弓彎曲的最小姿勢之一

(e) 手部自然伸展動作

此時手部 MCP, DIP 與 PIP 關節皆呈現自然伸展, 並不刻意施力, 因此仍有部分關節角度呈現微彎狀態, 因此時手部並不用力, 此作為所有姿勢的初始狀態。

動作路徑紀錄: 以上所有動作將會在一距離人體 20~30 公分左右的平台進行, 其示意圖如下:

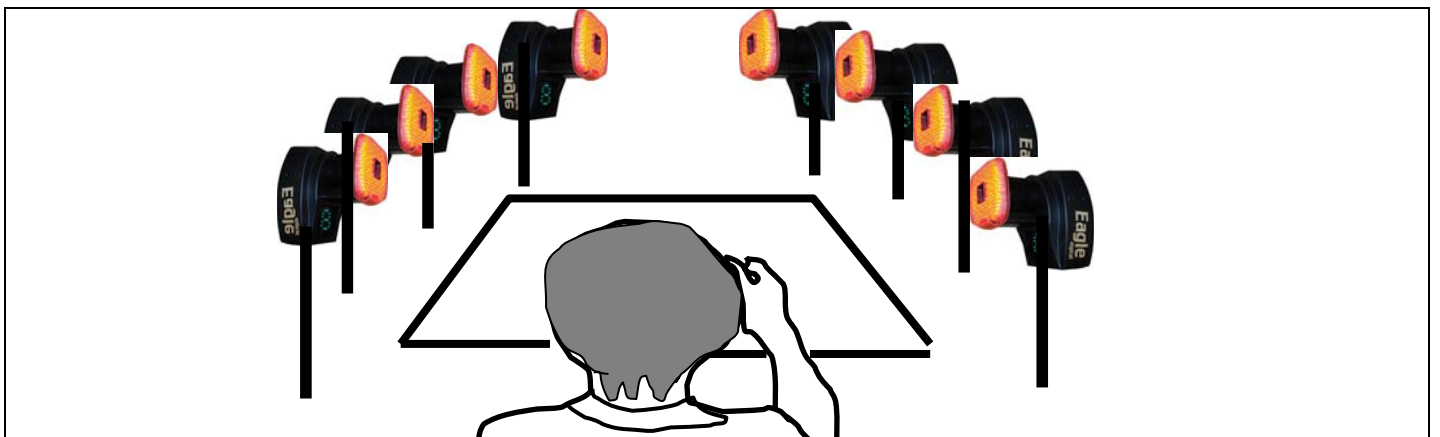
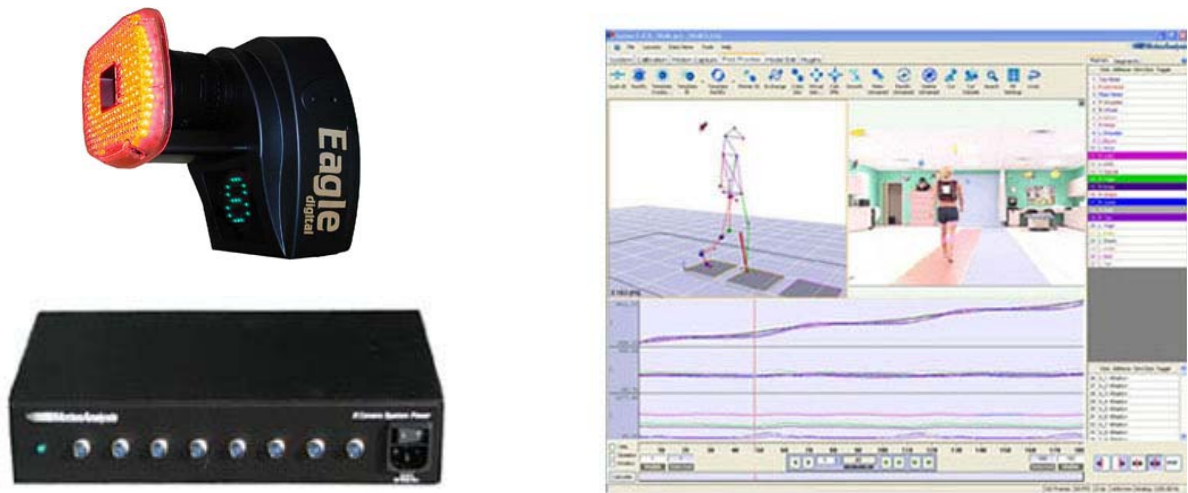


圖: 手部運動工作紀錄平台圖, 旁圍多台攝影機運動路徑記錄系統

(三) 實驗設備與環境介紹設計:

本計畫之共同主持人郭教授在力學研究已多年，因此本計畫與成功大學職能治療所之力學實驗室合作，藉由其運動分析系統，執行手部標記點的追蹤紀錄。雖然其已有配置分析軟體，但因實際光影與運動資訊過於複雜，我們亦須補強其中未抓到資料與資訊缺乏之處。其設備如圖，其為一可以擷取 3D 位置的多攝影系統(Motion Analysis: Eagle 8 Camera System)，因此許多手部的彎曲動作皆可以被成功的紀錄。



(四) 實驗設計:

本計畫已依據 IRB 申請結果資訊，募集年齡 20 至 30 歲的 25 位成年人，其中並無人有過重大手傷而使致手部功能出現缺陷。因此皆視為正常手的案例。每一位受測者皆經由事先的練習，由具備 IRB 研習操作者執行動作之引導與解說。並使其至少自行練習過三次以上至熟練，可以以自然不停頓的運動執行完整個運動過程。在運動系統的拍攝過程中，將至少執行三次動作，每次將至少間隔 5 分鐘，以確保其受測者動作的一致性。另外，為確認並評估個案的 intra-subject 變異程度，每一個案將分別於另一不同時間執行重複受測，期間隔至少 1 星期以上。如此將使每一受測資料較具可靠度，以利於模型的建立。

每一手部運動將依據上述(二)的部分進行，因此每一位個案約進行 30~50 分鐘的運動過程。附件為個案資料記錄。

(五) 資料前處理與再取樣:

本計畫採用的運動系統所抓資料皆以每秒 30bps 以上速度紀錄，因此造成許許多餘的資料點。且在再取樣前需要先進行雜訊濾波，以便去除運動多攝影追蹤系統參數估計的誤差。其再取樣的估計方式如下圖所示:

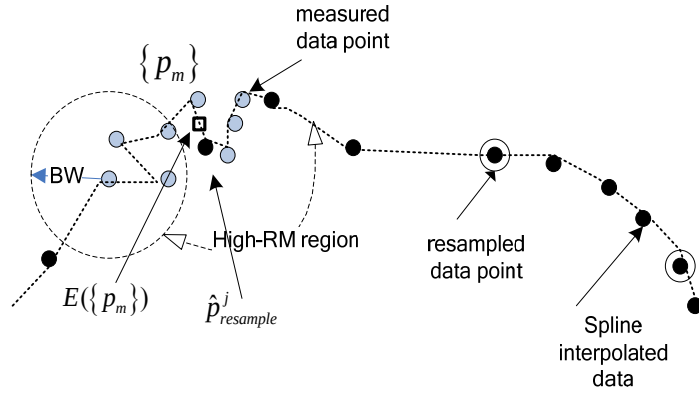


圖:雜訊過濾與再取樣示意圖

其主要方式為針對多餘的重複點以一半徑 BW 為範圍作期望值的估計，並以其作為代表點。另外對於過度低取樣的空間點也做 B-spline 點的插入。以其所有資訊點呈現幾乎等具的取樣。如下，再取樣的數學式為: ($\hat{p}_j$ 為再取樣點)

$$\hat{p}_j = p_i \cdot Ind_j(p_i, RM_i) \quad Ind_j(\cdot) = \begin{cases} 1 & d(p_i, \hat{p}_{j-1}) \leq \delta_{dist} \text{ \& } RM_i < \delta_{repeat}, i=1, \dots, size(P), j=1, \dots, size(\hat{P}), \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$\hat{p}_j = \begin{cases} p_h, & h = \underset{i \in \{m\}}{\operatorname{argmin}} \|p_i - E(\{p_m\})\|, \{RM_m\} \geq \delta_{repeat} \text{ and } d(p_m - \hat{p}_{j-1}) \leq \eta \delta_{dist}, \\ p_i, & RM_i \geq \delta_{repeat} \text{ and } d(p_i, \hat{p}_{j-1}) > \eta \delta_{dist} \end{cases}, \quad (2)$$

另外，對於幾何架構的取出，分為拇指工作運動空間與四指運動空間部分。

(六) 拇指工作空間參數模型建立:

此計畫對於拇指工作空間的成果另有討論，為了可以找出精確的拇指工作空間型態，我們嘗試討論 Lee(2008)年的研究，即認為拇指工作空間可以被參數化為一球面的角錐體，然而經由臨床資了顯示，此部分的形態資訊可以更進一步的改善。因此我們提出以螺形函式(Spiral Function) 來量化拇指工作空間，並已將此結果發表於國際會議論文。

由於以生物力學與人體工學的角度看來，許多伸屈式的身體部位皆被模型化成鏈結式的連棍模型(Linked-link model)，然而，由於關節面特殊的接觸方式與生物力學運動(bio-mechanical chain)，此運動所造成的頂點運動軌跡將呈現如螺狀的線型。我們嘗試將卡式座標系轉換為集座標系，並在即座標系中尋求參數的最佳化。因此，定義出一決定半徑長度 r 的函式，其與向上角度 (pinch angle) 與水平角度呈現一三階多項式函數。

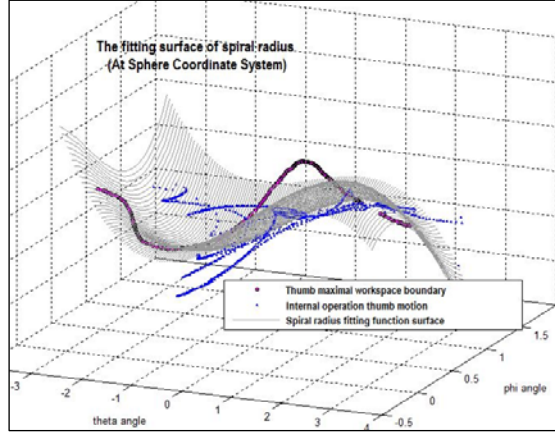
$$\begin{aligned} x &= r(\theta, \phi) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ y &= r(\theta, \phi) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\theta) \\ z &= r(\theta, \phi) \cdot \sin(\phi) \end{aligned} \quad (3)$$

為卡式座標與集座標轉換

$$\begin{aligned} r &= f(\theta, \phi) \\ p &= (\theta, \phi, r) \equiv (\theta, \phi, f(\theta, \phi)) \end{aligned} \quad (4)$$

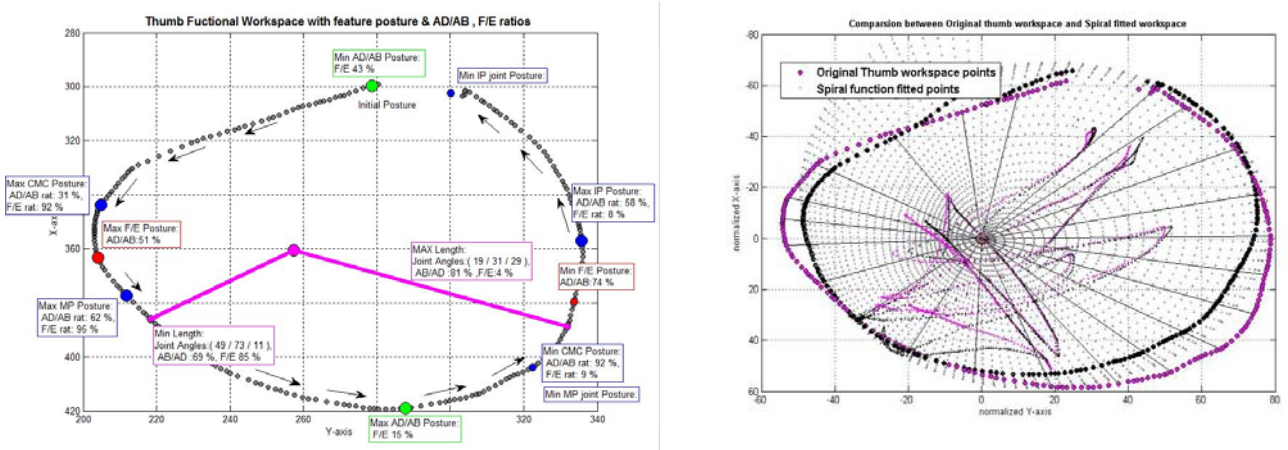
$$\begin{aligned} r(\theta, \phi) &= a \cdot \theta^3 + b \cdot \theta^2 \cdot \phi + c \cdot \theta \cdot \phi^2 + d \cdot \phi^3 + e \cdot \theta^2 \\ &\quad + f \cdot \theta \cdot \phi + g \cdot \phi^2 + h \cdot \theta + i \cdot \phi + j \end{aligned} \quad (5)$$

其中，P 為其最預估參數支集合： $\hat{P} = (\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{e}, \hat{f}, \hat{g}, \hat{h}, \hat{i}, \hat{j})$



圖為此最佳化曲面在即座標空間之分布情形，藍色點為資料點，灰色網格為參數曲面，可以看出其預估及座標點之資訊非常穩合。

下圖為拇指工作空間在卡式座標的 2D 投影圖，可以訂出其空間之主軸用來校正投影平面。



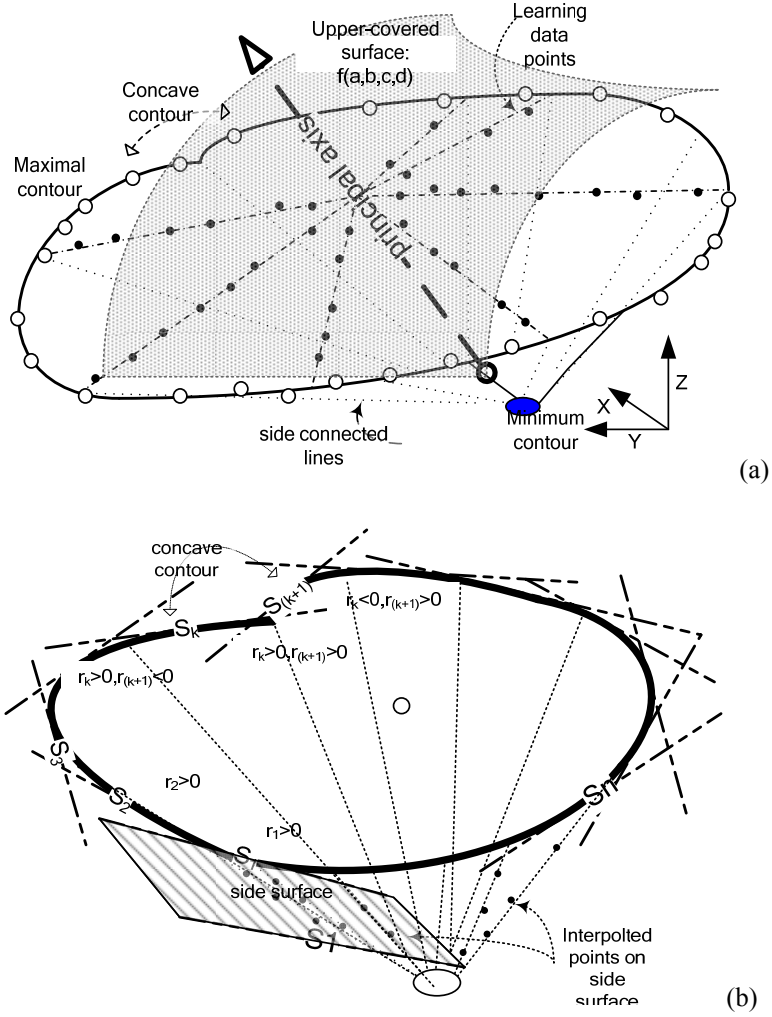
可以看出，藉由正確的參數曲面，可以將複雜的卡式座標資訊參數化成即座標的函式。右圖紫色為參數函式的估計點，與黑色點的原資料點非常接近。另外，藉由， 拇指工作空間的參數化，我們可以更精確計算出其指尖運動面積，空間體積等資訊：

$$\begin{aligned} A &= \iint_{x,y} dx \cdot dy \\ &\equiv \iint_{\theta,\phi} d[r(\theta, \phi) \cos(\theta) \cos(\phi)] \cdot d[r(\theta, \phi) \cos(\theta) \sin(\phi)] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
V &= \iiint_{x,y,z} dx \cdot dy \cdot dz \\
&\equiv \iiint_{\theta,\phi,r} d[r(\theta,\phi) \cos(\theta) \cos(\phi)] \cdot d[r(\theta,\phi) \cos(\theta) \sin(\phi)] \cdot d[r(\theta,\phi) \sin(\theta)]
\end{aligned} \tag{7}$$

(七) 拇指功能模型分析與建立:

在拇指部分，主要建立出拇指的最大空間區域，其初步的再取樣與幾何架構建立如圖所示:



圖(a): 拇指工作空間幾何架構之建立上層覆改函式。(b)建立側面多重覆蓋平面
其中圖(a)部分將使用一高階多項式還是來建立其覆蓋曲面。利用(a)與(b)圖的函數集合，我們可以分隔出屬於拇指工作空間的參數函式。利用此參數函式，可以建立出其他四指與拇指運動的關係。

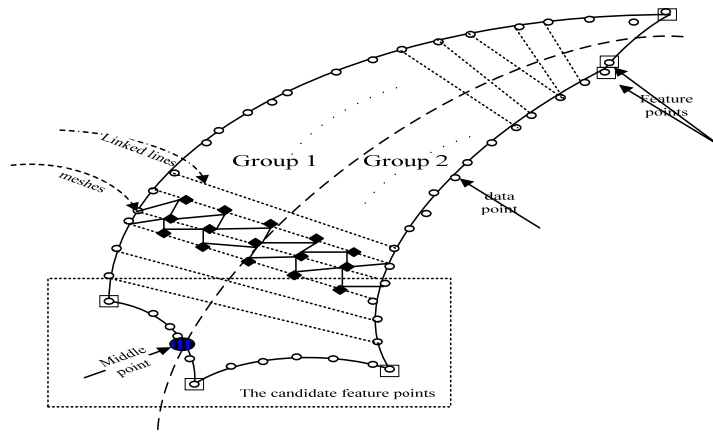
$$f(a,b,c,d) = ax^2 + bxy + cy^2 + d - z = 0, \tag{8}$$

$$\hat{S}_{thumb}^{upper}(a,b,c,d) = \arg \min_{a,b,c,d} \|f(a,b,c,d) - \hat{p}_j^{thumb}\|, j=1....k \quad (9)$$

其中 S 表示最佳的二次函式覆蓋曲面，每一位個案皆可找出最貼合其運動位置資訊的參數。(p 表示拇指運動空間的指尖位置資料)。

(八) 四指與手部功能模型分析與建立:

手指四指的運動分式，主要以分解動作後支連續運動為主，如圖一所式。然而我們希望的得到整個手指運動的包含面積，因此，藉由手指尖包圍區域找出其手指工作的可到達區域非常重要。我們藉由重取樣後的資訊來分析。首先找出手指運動時之轉折點，即由個別分段動作之對應路徑。首先將找出其動作轉折點(如圖方形位置所示)，藉由轉折點訂出該路徑區域的中心線，如圖所示，以中心線分為左右 2 邊，並各取其連接點，做橫向連接線，再利用連接線的交錯取點，建立 triangle mesh，此 mesh 集合極為重要的建構此明面的資訊。



圖：建構手指運動平面 mesh 模型

(九) 功能性工作空間模型建立:

由於手指與拇指運動的建立，此時的功能性手部運動空間模型將可以建立，其初步結果已發表，本計畫更進一步執行有關其時間性的討論：我們將每一個案所執行時間為單位，計算每個案進入功能區域與離開功能區域的一致性，並以此指標作為評估個案在執行功能性運動時的速度資訊與其手部姿勢的關係。因此除了提出 功能性比率外，我們將提出新的評估指標與資訊(功能性時序指標):

(a) 進入功能區時間比例

$$En_FCW = (First\ Enter\ time)/(Total\ time)$$

(b) 離開功能區時間比例

$$Le_FCW = (Last\ Leaver\ time)/(Total\ time)$$

(c) 功能區執行時間比例

$$Run_FCW = [Last\ Leaver\ time - First\ Enter\ time]/(Total\ time)$$

本計畫整理出不同個案時間序之關係，並嘗試與其 FCW 的表現作現性關聯。此指標更可以再實驗

並手時作為一種藥資訊。

五、 結果與討論

(一) 拇指運動工作空間模型分析與建立:

經由所收集的個案，我們已將每位最佳的集座雕去面函式找出:其中三位資料如下:

subject1: $r(\theta, \phi) = -1.9\theta^3 - 2.6\theta^2\phi - 11.6\theta\phi^2 + 38.6\phi^3 + 2.7\theta^2$
 $+ 13.3\theta\phi - 83\cdot\phi^2 + 13\theta + 36\phi + 53.7$

FW surface area : 20538 mm²

FW volume : 389160 mm³

subject2:

$$r(\theta, \phi) = -2.2\theta^3 + 0.4\theta^2\phi - 11\theta\phi^2 + 21.3\phi^3 + 0.02\theta^2$$
$$+ 10.2\theta\phi - 10.4\cdot\phi^2 + 18.4\theta - 26.5\phi + 65.5$$

FW surface area : 29373 mm²

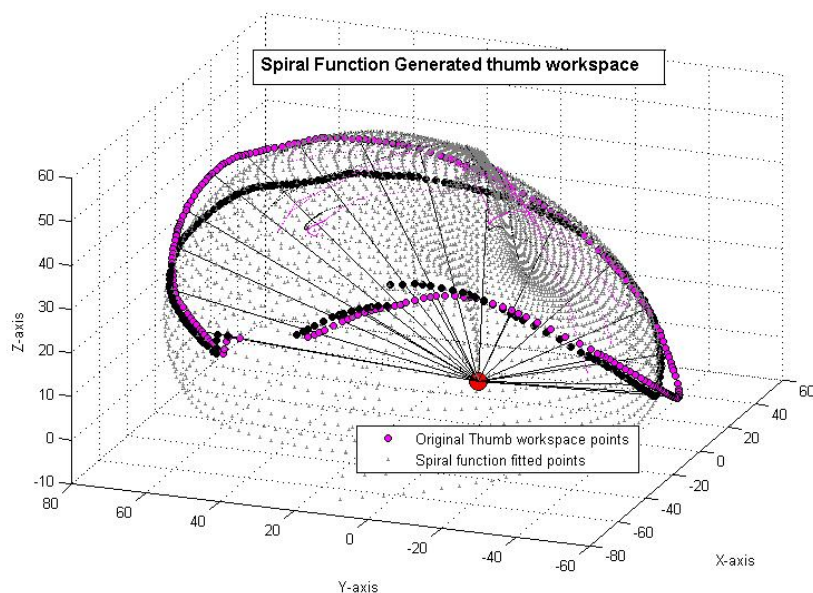
FW volume : 651140 mm³

subject 3 $r(\theta, \phi) = -1.6\theta^3 + 0.11\theta^2\phi + 1.4\theta\phi^2 - 3.4\phi^3 - 1.6\theta^2$
 $- 5.8\theta\phi + 26.5\phi^2 + 16.5\theta - 50.4\phi + 70.1$

FW surface area : 13275 mm²

FW volume : 203560 mm³

由此可以觀察出，其個案手部長度與工作空間面積(FW area)與體積(FW volume)有直接關係，且其曲面函式因在極座標量化，因此係數差異甚多。而其具體的呈現如下:



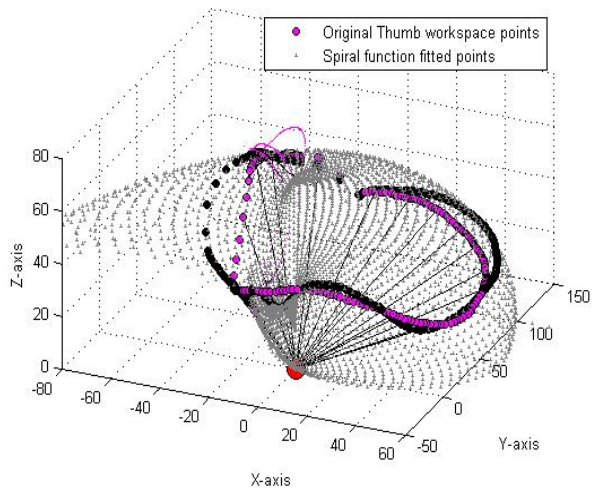
其中，灰色點與紫色點為參數量化模型重現之估計點，而黑色點為原來資料點。在上述的 2D 卡式座標圖上以顯示，紫色點對於拇指運動軌跡已可以有相當好的預估值，而整體的 3D 工作空間更可以使用此螺狀函式來參數化，以其視覺效果而言較使用球面的模型更貼近真實資料。以下為針對 25 位個案進行模型建立後之誤差與估計出的工作空間面積與體積。

subject No	trial No	Area mm2	Volume mm3	Error mean (mm)	Error std	Error max	Error min
s01	t1	27303.0000	885340.0000	2.2735	1.6570	7.7519	0.0422
s01	t2	18494.0000	341470.0000	2.4798	1.4104	5.5724	0.0096
s01	t4	20906.0000	581260.0000	2.6982	1.5354	7.5093	0.0503
s01	t5	22272.0000	634190.0000	1.5680	1.5380	6.9763	0.0054
s01	t6	17731.0000	421980.0000	1.7859	1.2230	5.4388	0.0242
S05	t1	27303.0000	885340.0000	2.2735	1.6570	7.7519	0.0422
S05	t2	27303.0000	885340.0000	2.2735	1.6570	7.7519	0.0422
S05	t3	12559.0000	222210.0000	4.6336	2.5185	9.6015	0.0264
S05	t5	11853.0000	199410.0000	2.1133	1.8987	8.7141	0.0414
S05	t6	10341.0000	184280.0000	1.6614	1.4081	5.1097	0.0105
S07	t1	10187.0000	208590.0000	3.1932	1.9835	14.9877	0.0296
S07	t2	11276.0000	200380.0000	1.5633	1.5372	7.8563	0.0053
S07	t4	10663.0000	195970.0000	1.6869	1.2561	5.4818	0.0428
S07	t5	8903.7000	208770.0000	1.4037	1.1140	4.1480	0.0271
S08	t4	5823.9000	156840.0000	1.7896	1.5730	8.4432	0.0151
S08	t5	5351.6000	134280.0000	1.3509	0.9891	3.3612	0.0365
S09	t1	33878.0000	1359100.0000	3.8833	2.7946	12.7859	0.0072
S09	t2	24988.0000	930520.0000	4.4006	2.6479	9.4852	0.00026922
S09	t3	18176.0000	450700.0000	6.5541	3.7851	15.5389	0.0326
S09	t4	33609.0000	1721200.0000	3.8966	2.8366	11.6427	0.131
S09	t5	63784.0000	2778200.0000	11.6956	10.9756	51.3949	0.0449
S10	t1	13017.0000	210100.0000	6.1283	5.0163	17.2189	0.0255
S10	t2	10993.0000	170280.0000	4.6602	2.7070	10.4425	0.0505
S10	t5	9268.7000	169580.0000	4.0988	3.4894	13.7503	0.0757
S11	t1	9557.9000	190760.0000	5.2497	3.3566	13.5699	0.0285
S11	t2	8244.7000	185000.0000	4.0697	2.7001	22.3030	0.057
S11	t3	16574.0000	427720.0000	4.1556	2.7697	11.2873	0.0087
S11	t4	9704.4000	229710.0000	2.6666	1.7222	8.4063	0.0207
S11	t5	17615.0000	568850.0000	3.3161	2.1325	8.4704	0.0183
S12	t1	14791.0000	379750.0000	2.9656	2.1768	12.2497	0.0082
S12	t2	14974.0000	423640.0000	1.4374	1.6555	13.4838	0.0052
S12	t4	14447.0000	308980.0000	2.1551	1.8171	7.2940	0.0275
S12	t5	15119.0000	342890.0000	2.9360	2.7406	11.9918	0.0013
S13	t1	120020.0000	9463900.0000	8.6120	8.6227	45.6118	0.0469
S13	t3	75967.0000	3777300.0000	9.5382	10.4640	51.0614	0.00034317
S13	t4	161110.0000	14314000.0000	9.0524	10.7668	53.8287	0.0046

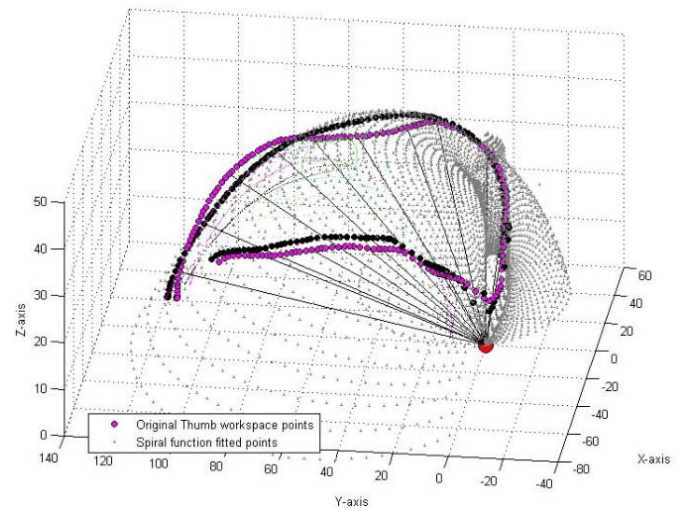
S13	t5	54001.0000	1752200.0000	11.2887	10.2043	45.0448	0.059
S14	t1	51084.0000	2034100.0000	5.3485	5.6248	25.2786	0.0275
S14	t2	7788.2000	164080.0000	2.4363	2.0767	14.0402	0.0048
S14	t3	12189.0000	288560.0000	3.7812	2.4479	12.9425	0.0171
S14	t4	8101.7000	209220.0000	1.3454	1.0712	8.3892	0.0181
S14	t5	7965.4000	190420.0000	1.4799	1.1754	6.0442	0.0044
S15	t2	13017.0000	210100.0000	6.1283	5.0163	17.2189	0.0255
S15	t3	24869.0000	690190.0000	9.3995	7.8589	38.1633	0.0225
S15	t5	23608.0000	727860.0000	6.6437	5.0202	24.0290	0.0237
S16	t1	45448.0000	1.8775	8.7740	7.9189	37.1678	0.114
S16	t3	137340.0000	11867000.0000	6.1415	4.3902	17.3956	0.0466
S16	t4	34442.0000	1876700.0000	8.7363	6.0187	20.8039	0.0105
S16	t5	29399.0000	1389600.0000	6.3179	4.5694	17.7567	0.001
S17	t1	14354.0000	296470.0000	5.2943	4.0008	29.7962	0.1289
S17	t2	14474.0000	328760.0000	7.3132	3.5122	14.9464	0.008
S17	t3	17474.0000	372310.0000	3.5630	2.6105	13.5291	0.0108
S17	t4	13417.0000	247100.0000	2.5813	1.9278	9.9919	0.0031
S17	t5	10059.0000	208760.0000	10.5896	6.4770	23.5849	0.0578
S18	t1	25243.0000	719040.0000	11.4510	10.8753	42.3340	0.0167
S18	t2	34343.0000	1235400.0000	5.8966	5.7059	25.3146	0.0364
S18	t3	51756.0000	2069400.0000	7.2748	6.5010	27.5666	0.0665
S18	t4	40730.0000	1225800.0000	11.1038	5.9778	31.0663	0.0034
S19	t1	7527.2000	121430.0000	3.9320	3.5542	17.4223	0.0014
S19	t3	10173.0000	345520.0000	7.9854	9.1403	38.2692	0.204
S19	t4	7722.6000	149580.0000	3.2043	4.0745	21.5019	0.0042
S19	t5	19645.0000	554430.0000	6.8047	7.1878	35.4125	0.0256
S21	t1	9155.2000	244190.0000	1.8380	1.5546	9.5433	0.0144
S21	t2	13809.0000	343890.0000	1.8605	1.7047	17.5661	0.0028
S21	t3	9739.2000	215170.0000	1.9930	1.2828	9.3170	0.0226
S21	t4	9892.0000	217090.0000	1.6173	1.6090	8.3759	0.007

表：收集個案之拇指參數螺形模型之誤差之估計資訊

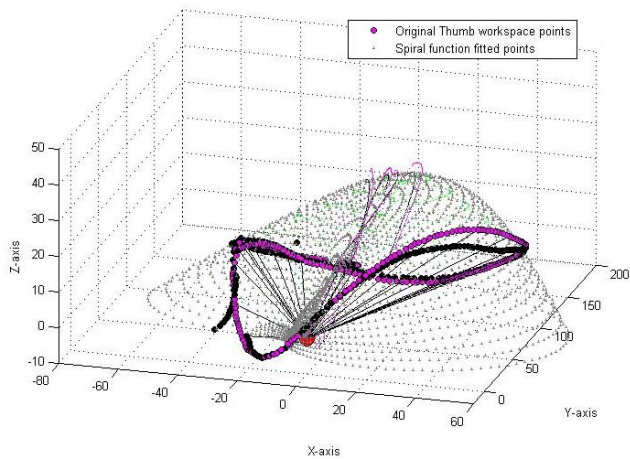
Subject 5



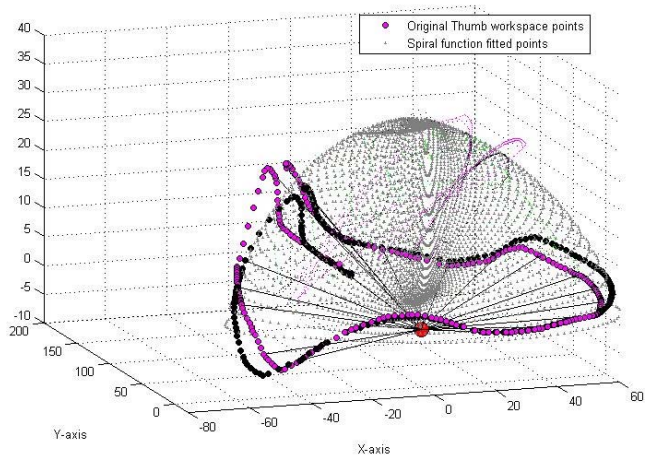
Subject 7



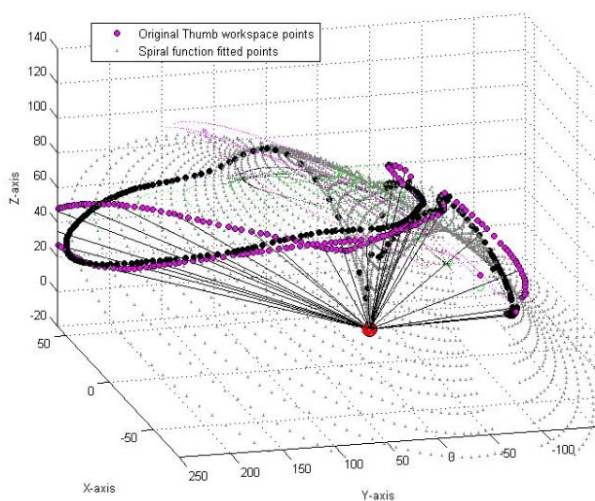
Subject 9



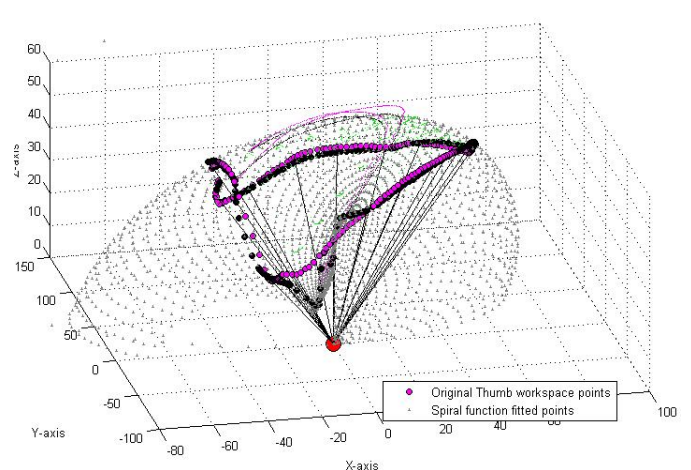
Subject 10



Subject 14



Subject 21



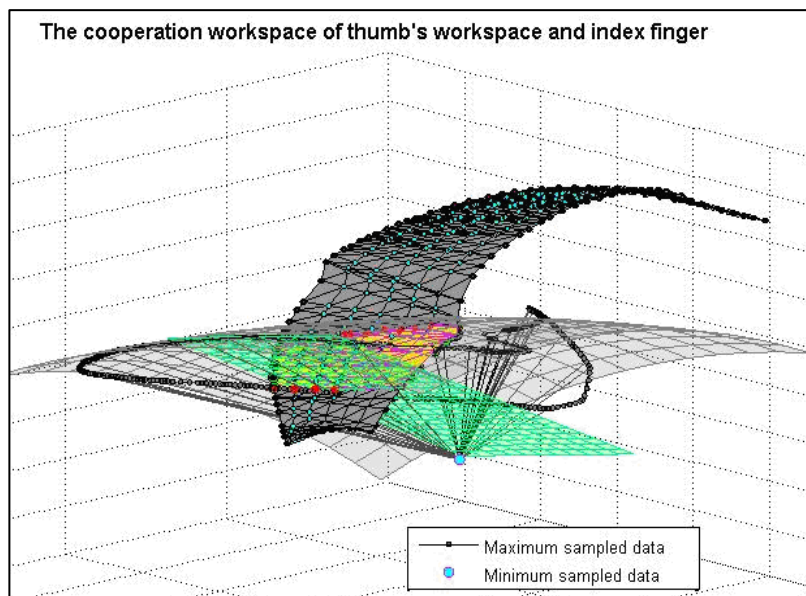
圖：更多拇指螺形參數模型結果

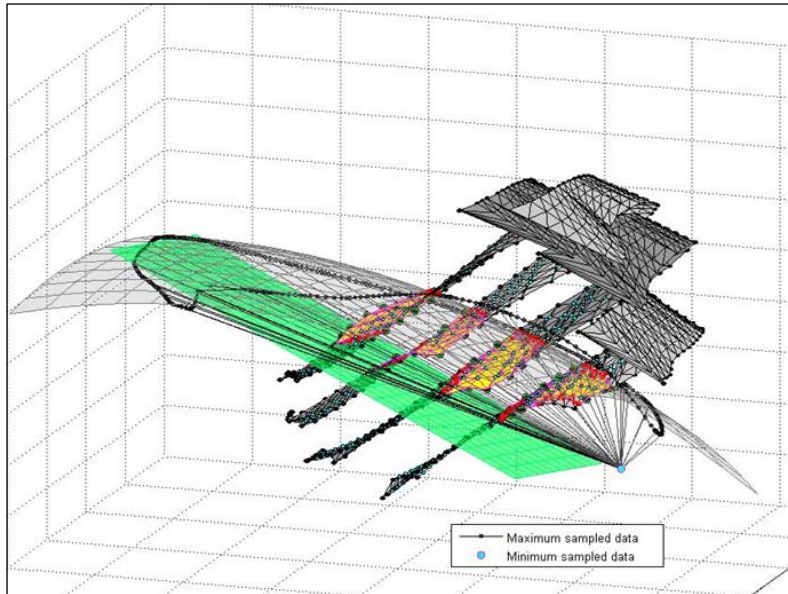
討論:

在收集的個案中，由於拇指運動的個別差異性，使得其所找出的極座標螺型函數細數差異甚大，但其平均誤差相較於手指長度揭小於 3% 左右，為可以容人之範圍。其中大部分個案的最大誤差也維持在 10% 以內。但仍有約三分之一的個案其誤差約 15%~20%，在評估其表現後發現，這些個案大都在拇指的活動空間上是受限的或教不對稱的。以致於極座標模型無法完整的估計其位置資訊。此螺型函數的缺點是在於極座標與卡式座標轉換的奇異點(singularity points)上，在這些點會造成卡式座標值近似於無窮大，此處大都是在極座標的特殊角度上，造成卡式座標的不連續性。因此，完整的參數模型應該再將此邊際因素考慮進去，以期螺型模型估計值在合理範圍之內。

(二) 手部運動工作空間模型分析與建立:

此手部工作空間模型之建立為方法中(七)(八)與(九)之結果，期將涵蓋拇指參數區域與四指運動參數區域與最後的功能性工作空間(FCW)估計與其相關實績性指標。然而，由拇指螺行參數模型尚在開發階段，在此，我們直接採用卡式座標的二次曲面作為覆蓋拇指運動空間的上蓋參數曲面，並在建立多個(8~12) 個側邊參數平面(下圖綠色平面)後，可以包覆出拇指運動空間區域。以下圖為例，灰色 mesh 模型表示食指(index finger)的工作參數曲面，而其與拇指區域交集區域為其功能性工作區域(FCW，標為黃色)。



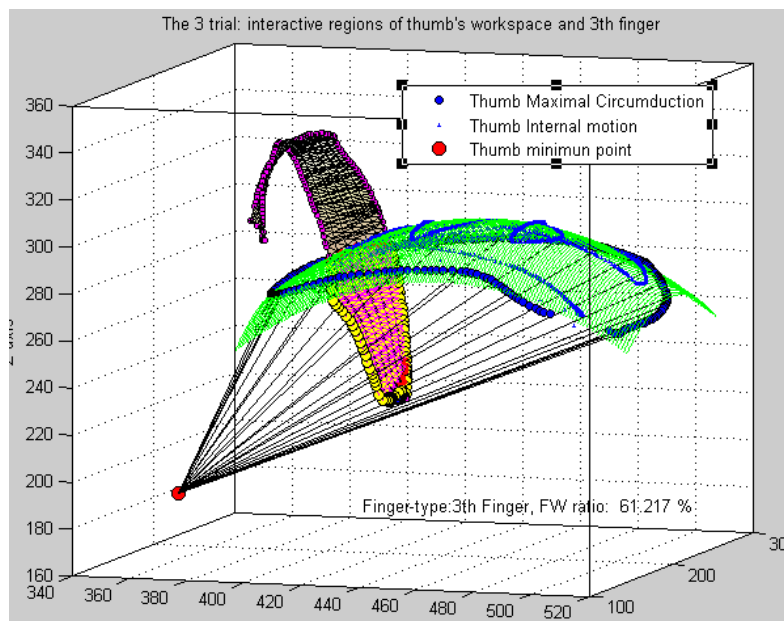


上圖為四指的 FCWs，可以清楚看到，當拇指與四指同時合作運動時，其有效的工作空間所占不大，約為 index finger: 30~50%, middle finger: 25~30%，ring finger: 10~15%，little finger: <15%。這些資訊可以提供個案在各指運動空間比例之合理值。

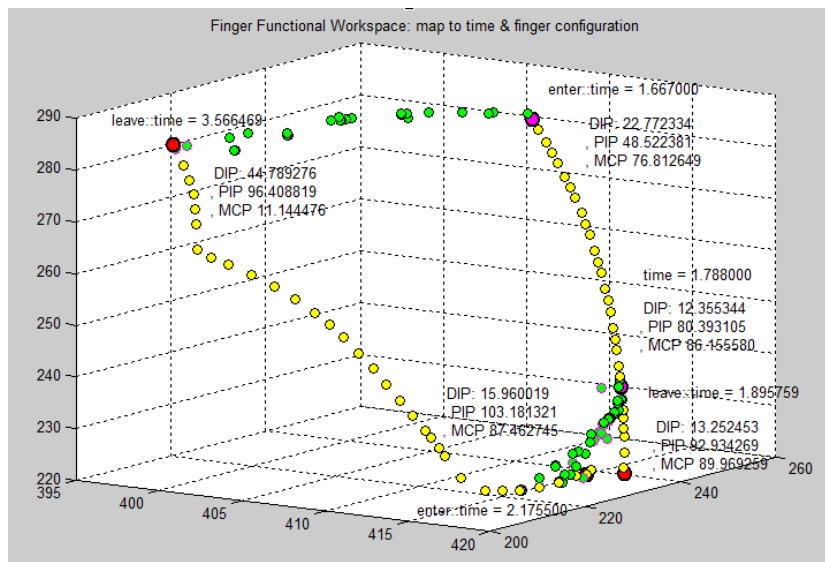
除了取出 FCW 的資訊外，我們將以時序的觀念分析手部運動型態學與其手部姿勢(Finger Configuration)之間的關係，其分析資訊將顯示出，手部進入 FCW 與離開 FCW 的時間狀態，包含進入時間長短，進入次數，更重要的是，進入與離開 FCW 的手形態與關節姿態訊息為何，以此作為臨床診斷的更有利依據。

下例為 ring finger 的 FCW 情形:

(a)顯示 finger 執行 FCW 時，其空間形態資訊，(b)為 FCW 相關進入與離開手部資訊



(a) 個案 1, ring finger 的 FCW 空間資訊圖



(b) FCW 时序與手部姿勢資訊

由此，我們可以建立以下指標，並分析指標與各指工作空間的關係

Enter	The enter time points are at 1.667 sec after staring (in: fr= 95) The finger configuration (ENTER IN): DIP: 22.772334, PIP 48.522381, MCP 76.812649
Leave	The leave time points are at 1.788 sec after starting (out: fr= 125) The finger configuration (OUT): DIP: 12.355344, PIP 80.393105, MCP 86.155580
Enter	The enter time points are at 2.176 sec after staring (in: fr= 142) The finger configuration (ENTER IN): DIP: 15.960019, PIP 103.181321, MCP 87.462745
Leave	The leave time points are at 3.566 sec after starting (out: fr= 189) The finger configuration (OUT): DIP: 44.789276, PIP 96.408819, MCP 11.144476
Total Time	The total motion time are at 5.600 sec

(如方法九所述)

(a) 進入功能區時間比例

$$\begin{aligned} \text{En_FCW} &= (\text{First Enter time})/(\text{Total time}) \\ &= 1.667/5.600 \times 100\% = \mathbf{29.7\%} \end{aligned}$$

(b) 離開功能區時間比例

$$\begin{aligned} \text{Le_FCW} &= (\text{Last Leaver time})/(\text{Total time}) \\ &= 3.566/5.6 \times 100\% = \mathbf{63.7\%} \end{aligned}$$

(c) 功能區執行時間比例

$$\begin{aligned} \text{Run_FCW} &= [\text{Last Leaver time} - \text{First Enter time}]/(\text{Total time}) \\ &= \mathbf{34\%} \end{aligned}$$

其中，

目前初步結果如下：

	Fingers	FCW ratio	En_FCW	Le_FCW	RunTime	Run_FCW
Subject 1	Index	65.64 %	29.76 %	65.65 %	5.43 s	35.89 %
	Middle	67.36 %	29.71 %	64.18%	5.58 s	34.47 %
	ring	61.27 %	29.77 %	63.69%	5.6 s	33.92%
	little	58.15 %	34.27%	71.33%	4.83 s	37.0 %
Subject 5	Index	55.5%	24.95%	94.15%	5.9 s	69.2%
	Middle	43.42%	27.44 %	92.9%	5.9 s	65.48%
	ring	34.3 %	27.4 %	90.5 %	5.9s	63.1 %
	little	3.37%	19.7 %	72.03%	5.9 s	52.28 %
Subject 11	Index	25.3%	40.78 %	79.9%	4.8 s	38.3%
	Middle	11.85%	39.8%	76.7%	4.9 s	36.9%
	ring	1.74 %	70.51 %	77.28 %	4.9 s	6.7%
	little	0 %	-	-	-	-
Subject 17	Index	31.9%	50.72%	91.42%	5.8 s	39.7 %
	Middle	16.5 %	50.1 %	87.5%	5.8 s	37.41 %
	ring	8.12%	50.9%	88.9%	5.8 s	37.9 %
	little	0 %	-	-	-	-
Subject 18	Index	53.14%	31.1 %	86.6%	5.78 s	55.49%
	Middle	45.25%	31.38%	86.7 %	5.76 s	55.32%
	ring	35.65%	32.28%	87.6%	5.7 s	55.4%
	little	19.76%	33.14%	38.30%	5.4s	5.16%
Subject 21	Index	35.47%	43.9%	84.77%	4.8 s	40.87%17.7%
	Middle	17.7%	45.1%	87.25%	4.8s	42.1%
	ring	5.18%	48.4%	92.57%	4.4s	44.1%
	little	0%	-	-	-	-

由於手部資訊多因個人手部的使用習慣不同而使結果差異性極大，因此我們依據可用的個案資訊大至可以整理出以下發現：

(1) 一般的 FCW 工作區比例較高者，大都在 25%~35% 左右的運動時序時進入工作區域(假設整體手部活動為近於等速)，且其在工作區 FCW 中運動時間約占整體的 50%~65%左右。因此，表示此手部

功能運動相當完整。

(2)而對於 FCW 比率較小的個案，其進入 FCW 的時間較晚，約在 40%~50% 整體時間後。而其在 FCW 工作區域中整體停留時間也較短，約 30%~40% 左右。

(3) 因此，此 FCW 的時序指標也提供一不錯的手部運動訊息，然因跟個人使用手部的習慣息息相關，因此就目前可以完成的個案而言，病還無法提供整體的一致訊息。也就無法提供適當的參數化模型，有待瑜收集更多個案做分析整理。

(4) 有關於個人針對 FCW 的手部姿態形態，也可以由上述資訊提供訊息

下表顯示在進入 FCW 與離開 FCW 時手部關節的 MCP, PIP 與 DIP 資訊，可以檢驗出其有作用的關節角度範圍。

	Fingers	MCP	PIP	DIP	(單位：度)
Subject 1	Index	15 ~ 82	40 ~ 97	9 ~ 59	
	Middle	12 ~ 78	50 ~ 88	12 ~ 40	
	ring	30 ~ 68	60 ~ 90	20 ~ 58	
	little	40 ~ 70	70 ~ 92	30 ~ 48	
Subject 5	Index	18 ~ 84	13 ~ 114	5 ~ 74	
	Middle	16 ~ 78	16 ~ 98	7 ~ 79	
	ring	10 ~ 78	14 ~ 103	19 ~ 63	
	little	5 ~ 64	4 ~ 74	18 ~ 64	
Subject 11	Index	17 ~ 76	43 ~ 107	10 ~ 46	
	Middle	31 ~ 88	35 ~ 104	7 ~ 56	
	ring	11 ~ 21	103 ~ 107	49 ~ 51	
	little	0 %	-	-	-
Subject 17	Index	21 ~ 82	32 ~ 101	7 ~ 77	
	Middle	21 ~ 86	29 ~ 93	2 ~ 68	
	ring	12 ~ 72	20 ~ 95	4 ~ 58	
	little	0 %	-	-	-
Subject 18	Index	10 ~ 63	22 ~ 107	18 ~ 74	
	Middle	3 ~ 60	30 ~ 102	15 ~ 71	
	ring	4 ~ 51	28 ~ 89	2 ~ 79	
	little	23 ~ 24	48 ~ 74	46 ~ 76	
Subject 21	Index	21 ~ 71	25 ~ 87	10~76	
	Middle	12 ~ 80	25 ~ 96	6 ~ 83	

ring	7 ~ 70	33 ~ 99	10 ~ 63	
little	0%	-	-	-

結論與未來研究方向

由上述可知，藉由精細的全手標記點(39 Markers)，我們已將手部工作空間與工作時序資訊列出，並已將其對應之手部關節姿態(MCP, PIP 與 DIP) 擷取出。除了 PIP 的活動範圍較為廣泛外，其 MCP 的活動範圍實為有限。在有效的工作區內，甚至小指(Little finger)只需要小於 5 度的活動程度就足以達到完成功能性工作區間的動作。然而，目前由於個人的用手習性差異極大，因此對整體的模型開發仍有變數。期望可以將不同特性加以整合，提出有效的評估指標。

本次計畫成果包含兩大部分，第一部分為針對拇指運動空間做分析規劃，提出螺形函式來解決參數化的問題。其結果顯示，此方式的參數化具有一定的效益，根據其模型，可以容易的計算出拇指運動的空間表面積與工作區間的體積。目前也已顯示將近 10 位受測者的結果，且其誤差皆在容忍範圍內(5%平均長度)。這部分的初步結果已發表於國際會議，而其更完的分析與模型預計投稿國際期刊。第二部分是著重於手指與拇指工作空間的時序資訊，有別於前的研究，將更進一步的分析手指功能性動作的時序性，對於進入功能性區域的手部姿態資訊做進一步分析。針對手指最大運動軌跡的內插資訊，估計出進入與離開功能性工作區域(FW)的手指角度，以此可以預估手部的功能性到達的比例。此訊息可以建立為各能手部功能的特徵參數，並在手傷之後作為復健程度的目標參考值。而未來研究將試著找出手部分段姿勢的特徵對應，藉由手部動作的工作軌跡，可以了解個人的手部關節功能的伸展程度，甚至可以利用所建立的模型進行量化的參數評估。因此建立更可靠的參數模型將為下一步重要的研究。

因此，未來發展將著重於整體模型的一般開發，完成更多的受測者，並試圖整合不同手部運動個案間的差異性。以期可以發展更輕確的量化指標。另外，對於具功能障礙的手部運動資訊的收集也在未來的研究中，用以進行參數模型有效性之評估。

重要參考文獻

1. Ahn, SJ, Rauh, W., Cho, H.S., Warnecke, H.J.: Orthogonal distance fitting of implicit curves and surfaces. *IEEE Tran. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24(5), (2002), 620 – 638.
2. Chang CW, Sun YN, "Learning-based estimation of functional workspace in cooperative fingers motion, *International Proceeding: Bioinformatics and Biomedical Technology*", Vol. 29, ISBN: 978-981-07-1471-0. (2012)
3. Chase RA. Anatomy and kinesiology of the hand. In: Hunter JM, editor. *Rehabilitation of the hand and upper extremity*. St. Louis: Mosby;2002. p. 60 – 76.
4. Chiu. H.Y, Su, F.C. and Wang, S.T. "The motion analysis system and the fingertip motion area. Normal values in young adults." *Journal of Hand Surgery-British Volumn* 23(1) (1998a) 53-6.
5. Chiu HY, Lin SC, Su FC, Wang ST, Hsu HY. "The use of the motion analysis system for evaluation of loss of movement in the finger". *J. Hand Surg [Br]*. 25(2), (2000)195 – 9.
6. Chiu HY, Su FC, Wang ST, Hsu HY. The motion analysis system and goniometry of the finger joints. *J Hand Surg [Br]* (1998b);23(6):788 – 91.
7. Cole KJ, Abbs JH. "Coordination of three-joint digit movements for rapid finger – thumb grasp". *J Neurophysio*, 1;55(6) (1986) 1407 – 23.
8. Cruz EG, Kamper DG. Kinematics of point-to-point finger movements. *Exp Brain Res*, 174(1) (2006) 29 – 34.
9. Durand S, Marin F, Oberlin C, Ho Ba Tho MC. Morphogenesis of the human palma arch using three-dimensional geometric modeling. *Clin Anat*. 24(7) (2011), 874-9
10. Kamper DG, Cruz EG, Siegel MP. Stereotypical fingertip trajectories during grasp. *J Neurophysiol*;90(6), (2003), 3702 – 10.
11. Kuo LC, Chiu HY, Chang CW, Hsu HY, Sun YN, "Functional Workspace for Precision Manipulation in Normal Hands", *Journal of Electromyography and Kinesiology* 19 (2009) 829 – 839
12. Jie Tang , Xudong Zhang & Zong-Ming Li, "Operational and maximal workspace of the thumb", *Ergonomics*, 51:7, (2008),1109-1118.
13. Mary. W. Marzke, "Precision Grips, Hand Morphology, and Tools", *American J. Physical Anthropology*, 02, (1997) 91 – 110.
14. Patnaik, V.V.G, Kalsey, G, Singla Rajan, K," Palmar Arterial Arches- A Morphological Study," *J Anat. Soc. India* 51(2) (2002) 187-193.
15. Su FC, Kuo LC, Chiu HY, Chen-Sea MJ, "Video-computer quantitative evaluation of thumb function using workspace of the thumb." *Journal of Biomech*. Jul, 36(7) (2003) 937-42.
16. Sangole AP, Levin MF, A new perspective in the understanding of hand dysfunction following neurological injury. *Topics in stroke rehabilitation*. 14(3), (2007) May-Jun, 80-94.
17. Sangole AP, Levin MF, Arches of the hand in reach to grasp. *J Biomech*. 41(4), (2008), 829-37.
18. Wang G, Z Zhu, H Ding, X Dang, J Tang. Using Virtual Markers to Explore Kinematics of Articular Bearing Surfaces of Knee Joints, *13th International Conference on Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings* Vol. 23, 2009, pp 1037-1041.

19. Wu G, van der Helm FCT, Veeger HEJD, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion – Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech* 2005;38(5):981 – 92.
20. Zhang Xiaoming, and Rosin PL, "Superellipse fitting to partial data". *Pattern Recognition* , 36(3) (2003), 743-752.
21. Lin, H.T., Kuo, L.C., Liu, H.Y., Wu, W.L. and Su, F.C., 2011. The three-dimensional analysis of three thumb joints coordination in activities of daily living, *Clinical Biomechanics*, 26, 371 – 376.
22. Kuo, L.C., Chiu, H.Y., Chang, C.W., Hsu, H.Y. and Sun, Y.N., 2009. Functional workspace for precision manipulation between thumb and fingers in normal hands, *J. Electromyography and Kinesiology*, 19, 829 – 839.

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：104 年 10 月 26 日

計畫編號	MOST—103—2218—E—041—001		
計畫名稱	以功能性觀點為出發點之手部工作空間與手弓的型態學評估		
出國人員 姓名	張瓊文	服務機構 及職稱	嘉南藥理大學/資訊管理系/副教授
會議時間	104 年 7 月 22 日 至 104 年 7 月 24 日	會議地點	日本東京
會議名稱	(中文) 第 2 屆國際工程與科技研討會議 (英文) ICENS: The 2nd International Conference on Engineering and Natural Science		
發表題目	(中文)以螺型函式建立手部拇指工作空間之量化模型 (英文) Quantitatively Modeling Thumb Functional Workspace with Spiral Surface Function		

一、參加會議經過

此會議為國際會議，其參與國家超過 10 國，跨足商管與資訊, 機械等科技領域，該會於 22 日正式於早稻田大學舉行，並邀請國際知名學者演講(Opening Ceremony: Keynote Speech & Best Paper Awards/Keynote Speaker: Prof. Hajime Tozaki, Waseda University)。除積極參與難得的演講盛會，本人投稿論文已被該會採計為口頭報告論文，其證明資料如附件，並安排在第 2 天的 section 執行會議口頭展演報告. 其中並與加拿大學者(session chair)與日本韓國等學者作討論，對於本人所提出模型對於人體手部復健功能的分析感到極大的興趣。另外參加一些相關領域的 session 論文場次，聽取更新的資訊。使本人對於目前相關資訊管理與健康醫學研

究領域的了解更深入，收穫相當豐盛。

二、與會心得

此會議主要以科技與人文為出發點的會議，其涵蓋層面豐富，許多學者件件已作跨領域的研究。此次口頭報告也提供非常好的國際交流，讓國際學者了解本校健康資訊相關領域之研究。另外，此會議對於休閒工業與科技的討論更是多元。這也相當符合現在社會的潮流。以人文服務為本的科技領域才是值得深耕的，多元的思考模式也才是創新的來源。

在不同領域的交流中，對於健康生活與休閒運動的議題特別被討論，不論是韓國學者或日本學者，對於台灣發展如此相關的研究都極感興趣。本計畫所提結果為復健相關課題，也引起數位學者的討論，認為這是一新的觀點。如果可以建立出標準的手部運動型態模型，則可以容易的評估手部功能。對於中風患者與手部患者的醫療都極有幫助。其他與健康醫療相關課題都漸漸與科技或資訊結合，應該即為將來的新趨勢。

三、發表論文全文或摘要

Quantitatively Modeling Thumb Functional Workspace with Spiral Surface Function

Cheung-Wen Chang^{a*}, Hsiao-Ting Chiu^a, Li-Chieh Kuo^b and Yung-Nien Sun^c

^a Department of Information Science, Chia Nan university of Pharmacy & Science,

^b Department of Occupational Therapy, National Cheng-Kung University,

^c Department of Computer Science and Information Engineering, National

Cheng-Kung University

Tainan, Taiwan

*Corresponding Author: cewen@mail.cnu.edu.tw

ABSTRACT

functionality of thumb is known as vital factor for hand rehabilitations. In this paper, we proposed a new spiral-like function to parameterize such complex thumb workspace, so that the evaluations of thumb motion capacity could be applied more precisely. The proposed thumb workspace indicates the functional workspace (FW, Kuo's 2003). In order to acquire optimal fitting function, some transformations for Cartesian and spherical coordinates coordinate systems must be applied. By transformation, all the spiral radiuses of motion points are specified and could be fitted as a function. Thus, the range of thumb FW could be parameterized and the associated area and volume could be figured out easily. In clinical applications, this parameterization reveal more precisely so that finer evaluations of thumb motion function is feasible..

Keyword: functional workspace, thumb motion, spiral surface function

MAIN DESCRIPTION

Introduction

As human's thumb performs a wide variety of functions, the normality of thumb motion plays an important role in hand functions in daily activities. This paper concerns about such a FW(thumb functional workspace presented by Kuo[1]), not the con-like space, and attempts to determine its mathematical model more precisely. In addition, based on such compact mathematical form, the volume and surface area of thumb FW is possible to be acquired. These quantitative parameters are vital for evaluating the functional capacity of thumb of individual.

Methods and Materials

According to previous studies, the hinged finger is always modeled as linkage-link kinematics. The trajectory of fingertip performs as a spiral curve based on such kinematics model in mathematical form (we call forward dynamics). By this properties, to specify the thumb motion trajectories in 3D space as a spiral like surface is a nature assumption. Here, we specify the spiral surface function for thumb FW as the following form:

$$r(\theta, \phi) = a \cdot \theta^3 + b \cdot \theta^2 \cdot \phi + c \cdot \theta \cdot \phi^2 + d \cdot \phi^3 + e \cdot \theta^2 + f \cdot \theta \cdot \phi + g \cdot \phi^2 + h \cdot \theta + i \cdot \phi + j \quad (1)$$

Such 3rd order function is essential for represent complex thumb motion positions in spherical coordinate systems. The proposed spiral model is determined in a spherical coordinate system. First, all motion points (including the maximal circumduction and internal operation points) are transformed into spherical coordinates. As shown in Fig(), the magenta and blue points are measured points. Second, the fitting surface function could be determined based on a minimal-least-square error strategy. The acquired parameters are denoted as: $\hat{P} = (\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{e}, \hat{f}, \hat{g}, \hat{h}, \hat{i}, \hat{j})$, and the coordinates can be written as: $(\theta, \phi, r(\theta, \phi, \hat{P}))$. Last, the thumb motion surface in Cartesian coordinate system should be transformed back.

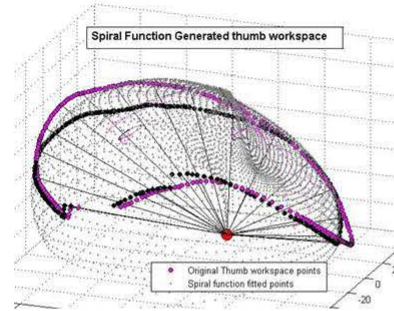
Results

Table 1: The spiral surface function, the area and volume of thumb FW

$$r(\theta, \phi) = -1.9\theta^3 - 2.6\theta^2\phi - 11.6\theta\phi^2 + 38.6\phi^3 + 2.7\theta^2 + 13.3\theta\phi - 83 \cdot \phi^2 + 13\theta + 36\phi + 53.7$$

FW surface area : 20538 mm²

FW volume : 389160 mm³



Conclusion

In experiments, three subjects have the maximal fitting error about 15% with respect to the mean radius, with less than 4% deviation. But the mean error is about 6% with respect to mean radius. In visual observations, no doubt, the thumb motion surface could be parameterized as the spiral surface function with better fitness rather than a simple cone sphere surface. Even though the fitting errors reveals unavoidable with using such 3rd-order radius function. In our future study, the optimal form of the spiral function could be worthy discussed.

AKNOWLEDGEMENT

We acknowledge support from the Taiwan National Science Council (Ministry of Science and Technology) grant MOST 103-2218-E-041-001.

REFERENCES

- Lin, H.T., Kuo, L.C., Liu, H.Y., Wu, W.L. and Su, F.C., 2011. The three-dimensional analysis of three thumb joints coordination in activities of daily living, *Clinical Biomechanics*, 26, 371 – 376.
- Kuo, L.C., Chiu, H.Y., Chang, C.W., Hsu, H.Y. and Sun, Y.N., 2009. Functional workspace for precision manipulation between thumb and fingers in normal hands, *J. Electromyography and Kinesiology*, 19, 829 – 839.

四、建議

日本大學的國際會議對於學校之間的合作相當有興趣，此次會議也有許多台灣學校參加，如台北大學，龍華科大，元智大學等。可以建議積極參與，以增加學術的曝光度。

五、攜回資料名稱及內容

2015 ICENS 論文全集CD

六、其他

口頭報告榮譽狀：



**ICENS**[Home](#)[Call for Papers](#)[International Committee](#)[Important Dates](#)[Publications](#)[Awards](#)**SUBMISSION**[On-line Submissions](#)[Style Guide for Authors](#)**REGISTRATION**[Registration](#)**INFORMATION**[Conference Venue](#)[About Tokyo](#)[Japan Visa](#)[Contact Us](#)**Welcome to the ICENS 2nd****Latest News**[Photo Gallery](#) August 26, 2015[Final Program Announced](#) July 17, 2015[Venue Details](#) July 17, 2015[Travel Guide to Waseda University](#) July 17, 2015[Notice to Presenters](#) July 2, 2015**Keynote Speaker****Professor Hajime Tozaki**
Waseda University**Latest News****Call for Papers**Please submit abstract or full paper through **Conference Management System**.**Submission Due:**
May 20, 2015

The 2nd International Conference on Engineering and Natural Science is to be held at Waseda University, Tokyo, Japan. The aim of the conference is to provide a forum for research collaboration and sharing of research experience. We invite scholars from engineering studies and the wider natural science to join us.

Conference Chair**Wen-Chen Hu**
University of North Dakota, USA**Conference Local Chair****Hajime Tozaki**
Waseda University, Japan**Conference Organizer****International Academy Institute****Tamkang University**

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2015/08/28

科技部補助計畫	計畫名稱：以功能性觀點為出發點之手部工作空間與手弓的型態學評估	
	計畫主持人：張瓊文	
	計畫編號：103-2218-E-041-001-	學門領域：生物力學
無研發成果推廣資料		

103年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：張瓊文			計畫編號：103-2218-E-041-001-				
計畫名稱：以功能性觀點為出發點之手部工作空間與手弓的型態學評估							
成果項目			量化			單位	備註（質化說明： ：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	其餘為大專生兼任助理 共計 5 人
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		已發表會議論文，Quantitatively Modeling Thumb Functional Workspace with Spiral Surface Function，104年7月22日至104年7月24日會議地點日本東京
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		

		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
其他成果 (無法以量化表達之 成果如辦理學術活動 、獲得獎項、重要國 際合作、研究成果國 際影響力及其他協助 產業技術發展之具體 效益事項等，請以文 字敘述填列。)		目前已將計畫2種成果分別撰寫期刊論文並於年底投稿					
	成果項目		量化		名稱或內容性質簡述		
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)		0				
	課程/模組		0				
	電腦及網路系統或工具		0				
	教材		0				
	舉辦之活動/競賽		0				
	研討會/工作坊		0				
	電子報、網站		0				
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數		0				

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

☒ 達成目標

☐ 未達成目標（請說明，以100字為限）

☐ 實驗失敗

☐ 因故實驗中斷

☐ 其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：☐ 已發表 ☐ 未發表之文稿 ☒ 撰寫中 ☐ 無

專利：☐ 已獲得 ☐ 申請中 ☒ 無

技轉：☐ 已技轉 ☐ 洽談中 ☒ 無

其他：（以100字為限）

已發表 國際會議論文一篇 並 口頭報告

Quantitatively Modeling Thumb Functional Workspace with Spiral Surface Function

in ICENS: The 2nd International Conference on Engineering and Natural Science , 104年7月22日至104年7月24日 日本東京

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以500字為限）

學術成就：

以手部功能為中心的研究於近年來被重視，也由於休閒樂活與生活方式的改變，手功能的運用越來越重要，無論是3C產品的使用，辦公室的工作與休閒運動的精細動作。手部的使用複雜化，受傷的機會增加，使得手部復健與術後評估被重視，甚至影響許多保險理賠等機制的制定。目前手部運動的臨床與學術的結合研究並不多，此計畫所提出的成果，預期將是此領域重要結果之一，就以目前已發表的拇指運動模型會議論文而言，就其創新的模型而言，應已具有申請專利的資格。另外，其完整的研究也在持續進行中，預計將可以至少發表1至2篇國際期刊。

技術創新：

由於本計畫需要與臨床結合，因此在實驗與理論上必須互相結合。此對於將來實際應用技術的創新極有幫助。臨床人員可以藉由此計畫研擬出的模型來進行診斷的量化，並實際給予專業的決策。在臨床上不失為一創新的工具。

社會影響：

藉由本計畫，使得生物力學，手部功能與運動理論作相當的結合。頁凸顯出建立人體各運動部位的功能性模型的重要性。讓跨領域的研究更具有前瞻性。